中華農業研究 (Jour. Agric. Res. China) 35 (1)：63~80 (1986)

# 螺旋藻 *Spirulina platensis*與*S. maxima* 形態、生理與生長特性之比較[1]

劉 慧 瑛[2]

**摘要**：本試驗係對目前已商業化生產之螺旋藻藻種 *Spirulina platensis* 與 *Spirulina maxima*進行形態、生理、細胞成分(一般組成、消化率、礦物質、胺基酸、色素及脂肪酸）與生長特性（生長速率、對高溫及强光之耐性）等之比較。

此二藻皆會產生直線狀突變種，而以 *S. platensis*形態較不受環境變化所影響；該藻細胞內含有多量氣胞，具有上浮能力，體型較非洲査德湖種爲大。*S. maxima* 形態與類胡蘿蔔素組成則近似墨西哥培養之*S. geitleri*（或稱*S. maxima*），細胞內氣胞量少，容易下沈且形態多變化。氣胞可能爲*S. platensis*的貯藏蛋白質之一。

*S. platensis*與*S. maxima*之 Linoleic Acid與Linolenic Acid總量約占總脂肪酸含量30%以上，可作爲必須脂肪酸補充食品。*S. maxima*在室內日光燈照射培養時$\beta$-Carotene含量極低，而在日光下培養之藻體則含量增加。

在室溫低照度培養下*S. maxima*生長較快。30—35°C 16Klux下初期生長以 *S. platensis*快，後期則*S. maxima*稍快。在40°C以上高溫及强光照射下 *S. maxima*停止生長或死亡。

本省夏秋兩季氣溫高日照足，適宜栽培*S. platensis*。春冬季氣溫低，光照弱則宜選擇*S. maxima*。

螺旋藻（Spirulina）是近年來法國石油研究所（簡稱 IFP）所開發之食用蛋白質資源。該藻能利用簡單的無機鹽類、二氧化碳、日光與水，在熱帶與亞熱帶地區，進行旺盛的光合作用，轉換成高營養價值的生質（Biomass），且培養及回收方法簡易，可視爲一種新的水耕（Water-culture）作物。事實上，在非洲Tchad湖附近居民自古以來，即以此爲可供交易的農產品，稱爲『地葉 (Dihé)』[20]。

水耕栽培螺旋藻有如下之優點：1.不必施用農藥或添加任何生長促進激素，不汚染生態環境；2.品質管制容易且安全無虞；3.栽培用水及肥料不易流失，節約資源；4.大量吸收二氧化碳，放出氧氣，淨化空氣；5.單位面積生質及蛋白質資源產量大於其它作物，充分利用日光能與熱能；6.每日均可收穫、產量平均，沒有一般農作物因季節性收穫而引起產銷失調之缺點；7.對天然災害如風災、水災、寒害等可迅速應變，損失小；8.收穫物含水量低，乾燥容易，乾燥後之成品較其它農產品比重大，

---

1 臺灣省農業試驗所 研究報告第 1261 號。本文獲國科會73年度研究成果獎助。

2 本所農業化學系助理研究員。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。

保存容易且不影響品質；9.不擇土地條件，可利用貧瘠荒蕪地區栽培，增加可耕地面積； 10.產品極富營養價值，可作健康食品、高價飼料、食用天然色素及醫藥原料等廣泛用途[5]，經濟效益高；11.目前雖然尚在開發產品市場階段，銷售地區僅及美、日兩國，然而供不應求，預估可銷往全球，極具發展潛力等。該藻唯一要求之生長環境爲溫度高日照足地區，臺灣中南部得天獨厚適宜生產。本試驗計畫之最終目的即在於使臺灣之螺旋藻生產趨向農業化，增加土地利用價值，改進農業技術，拓展螺旋藻外銷潛力，提高農民收益。

在三十餘種有記載之螺旋藻中，以分離自非洲內陸鹼水湖泊之*S. platensis*與墨西哥 SOSA 碱業公司天然蒸發池中之 *S. maxima* 被認爲合於工業化生產條件。目前在臺灣民間所生產之螺旋藻包括 *S. platensis*與 *S. maxima*，而政府試驗機構如本所[3]、畜試所[2]及水試所[28]則以*S. platensis*爲唯一對象。此兩株藻何者較適合在熱帶地區進行大規模農業方式生產，至今並無任何有關報告。

螺旋藻細胞成分雖有多位學者進行研究分析比較，而有關 *S. platensis*與*S. maxima*形態、生理性狀、細胞組成分及生長特性等比較，則尚未有報告。 Marty[22], Laquerbe[19], Palla[24], Pelloquin et al.[25]等僅對*S. platensis*與*S. geitleri*形態及部分細胞組成分進行研究，而Yanagimoto & Saitoh則對 *S. ultramaxima*與 *S. maxima*形態、生長速率及細胞一般組成分加以比較[8,31,32]。由於形態差異、細胞營養成分品質、生理特性、生長速率及環境適應力對室外開放式生產而言均爲必須考慮之因素，因此本試驗將對此二藻種進行上述項目之比較研究，以尋求適合在國內以農業方式生產之優良藻種。

## 材料與方法

1.藻種來源：*Spirulina platensis* 與 *S. maxima*由前聯合工業研究所所長郝履成博士與臺大農學院院長蘇遠志博士慨贈。此二藻種均爲單藻狀態（Uniagal），但非完全無菌。

2.基本培養基組成：係將Zarrouk氏培養基[33]加以修飾而得（見表 1）。

表 1、螺旋藻培養基組成

**Table 1.** The composition of synthetic medium of Spirulina

| | | | |
|---|---|---|---|
| $NaHCO_3$ | 8.40 g/L | $CaCl_2$ | 0.015 g/L |
| $K_2HPO_4$ | 0.25 | $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ | 0.01 |
| $NaNO_3$ | 1.5 | E. D. T. A. | 0.08 |
| $K_2SO_4$ | 0.5 | $A_5$ Soln. | 0.5 ml/L |
| NaCl | 0.5 | $B_6$ Soln. | 0.5 ml/L |
| $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ | 0.1 | | |
| $A_5$ Soln. | | $B_8$ Soln. | |
| $H_3BO_3$ | 2.85 g/L | $NH_4VO_3$ | 0.023 g/L |
| $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ | 1.81 | $K_2Cr_2(SO_4)_4 \cdot 24HO$ | 0.096 |
| $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ | 0.22 | $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ | 0.048 |
| $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ | 0.08 | $Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$ | 0.018 |
| $MoO_3$ | 0.15 | $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ | 0.044 |

3.藻體濃度測定：取螺旋藻培養液置於1公分或5公分寬之石英管中，測定其在560nm之吸光密度值，以O. $D_{560}$表示。

4.細胞乾重測定：取 100—250ml之螺旋藻培養液，以已秤重之濾紙過濾，再以蒸餾水充分洗滌後，在105°C下烘乾至恆量。

5.粗蛋白質測定：以Kjeldahl Method方法分析之（N×6.25）[9]。

6.灰分測定：以550°C灰化法分析之[9]。

7.粗脂肪測定：用Soxhlet裝置以乙醚抽出後分析之[9]。

8.粗纖維測定：依A. O. A. C. 粗纖維分析法分析之[9]。

9.總醣量（Carbohydrate）測定：以酚一硫酸法測定之[13]。

10.消化率（Digestibility）測定：依A. O. A. C. 方法，以2％胃蛋白酶（Pepsin）分解24小時後，分析之[9]。

11.藻藍素（Phycocyanin）測定：將洗淨懸浮於蒸餾水中之螺旋藻樣本，以Ultrasonic Co. 之Heat System Cell Disrupter超音波振盪器，將藻細胞打碎後，測定在 620及750mm之吸光密度，代入下式：

$$\text{Phycocyanin (mg.)} = 10 \times v \times f \times (\text{O. D.}_{620} - \text{O. D.}_{750})/73$$

〔v：溶液體積（ml.），f：稀釋倍數，吸光常數 $E_{1cm}^{1\%}$為73[10]，此測定值並未包含Allophycocyanin與Phycoerythrocyanin〕。

12.葉綠素a測定：將藻體樣本以80％丙酮抽出後，測定在 660及730nm之吸光密度，代入下式，式中葉綠素a吸光常數$E_{1cm}^{1\%}$為890[4]，

$$\text{Chlorophyll a (mg)} = 10 \times v \times f \times (\text{O. D.}_{660} - \text{O. D.}_{730})/890$$

13.類胡蘿蔔素（Cartenoid）測定：取藻體樣本以80％丙酮抽出後，測其在475及730nm之吸光密度，代入下式，類胡蘿蔔素吸光常數$E_{1cm}^{1\%}$為2,500[4]。

$$\text{Carotenoid (mg)} = 10 \times v \times f \times (\text{O. D.}_{475} - \text{O. D.}_{730})/2500$$

14.β—胡蘿蔔素（β-Carotene）之測定

測其在451及730nm之吸光密度，代入下式，β—胡蘿蔔素之吸光常數$E_{1cm}^{1\%}$為2,500[32]。

$$\beta\text{-Carotene (mg)} = 10 \times v \times f \times (\text{O. D.}_{451} - \text{O. D.}_{730})/2500$$

15.胺基酸組成分析：供胺基酸分析之樣本秤取 500毫克後，置於細頸試管中，加入10毫升6N鹽酸，抽成眞空後封口，置於110°C下水解24小時，經過濾及抽乾鹽酸後，加入 pH2.2醋酸緩衝液。取約含1毫克蛋白質之水解物，注入Yanagimoto Model LC-5A自動胺基酸分析儀中測定之。

16.脂肪酸組成分析：由乙醚抽出得到之油脂樣本中加入硫酸與無水甲醇混合液（1：100）完成酯化後，加水使之乳化，再以氯仿萃取酯化物，以 TRACOR 550氣相層析儀分析。測定條件為FID Detector 230°C；DEGS Column 6ft., 180°C；Carrier gas為氮氣，流速每分鐘50ml。

17.鉀鈉含量測定：以Corning Co. 之Flame Photometer 400型測定之。

18.鈣鐵錳銅鋅含量測定：以 Varian Techtron Atomic Absorption Spectrophotometer Type AA-5型測定之。

18.磷含量測定：以Vanado molybdo phosphoric Acid比色法測定之。

19.矽（$SiO_2$）含量測定：以550°C灰化後之鹽酸不溶物表示之。

## 結果與討論

### 一、形態之比較：

藍綠藻的形態常會因環境不同而有變化，Geitler[16]氏在其對螺旋藻的分類報告中亦提到Rich氏發

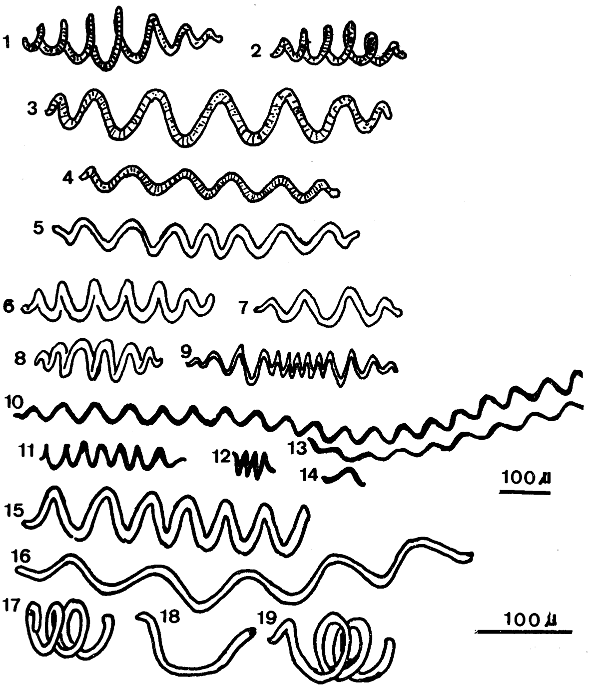


**圖 1**、多形態變化之螺旋藻*Spirulina platensis*（1—9係參考Geitler[16]氏資料）

**Fig. 1.** Various shapes of *Spirulina platensis* (1—9 according to Geitler[16])

現*S. platensis*有多種形態變化（見圖1）。Rippka et. al.[26]雖曾表示螺旋藻與蚯蚓藻（Arthrospira）兩屬間應以較具體的遺傳學基礎來作爲辨別的依據，然而在目前尚未有可靠的遺傳學或免疫學方法當作該屬藻類分類的法則之前，對多形態（Polymorphology）之螺旋藻分類，至今仍不得不沿用傳統的形態分類法而予命名。依據Geitler[16]氏與Desikacchary[12]氏對*S. maxima*與*S. pla-*

**表 2**、*Spirulina platensis*與*S. maxima*之形態（I）（依據Geitler氏[16]與Desikacchary氏[12]氏分類）

**Table 2.** Morphological charcteristics of *S. platensis* and *S. maxima* (I) (according to Geitler and Desikacchary)

| 藻 種 名 稱 Species names | *S. platensis* | *S. platensis* f. granulata* | *S. platensis* v. tenouis* | *S. platensis* v. non-constrica* | *S. maxima* |
|---|---|---|---|---|---|
| 資料來源 (Reference) | Geitler | Desikacchary | Desikacchary | Desikacchary | Geitler |
| 裸絲體寬度 (μ) (Trichome width) | 6—8 | 6.6—7.9 | 5.1—6.4 | 4—8 | 7—9 |
| 螺旋幅度 (μ) (Spiral width) | 26—36 | 19.3—35.4 | 30—34 | 20—50 | 40—60 |
| 螺旋距離 (μ) (Spiral distance) | 43—57 | (16.1) -20.5—44.9 | 40—52 | 40—62 | 70—80 |
| 細胞寬度 (μ) (Cell width) | 2—6 | | | | 5—7 |
| 顏色 (Color) | | | 淡藍綠 | | 透明、灰綠 |
| 隔膜 (Septa) | 稍微收縮 | | 不收縮 | 不收縮 | 不收縮、上存顆粒 |
| 頂端細胞 (Terminal cell) | 稍微變細 | 稍微變小 | 有冠狀物形成 | | 細胞變細 |
| 其它 (Others) | | 捲成彈簧狀 | | | |

*Desikacchary氏歸入蚯蚓藻屬（Arthrospira）

*tensis*（或稱 *Arthrospira platensis*）之描述，此二藻之形態區分示如表 2 而所描繪之圖形則如圖 2 所示。

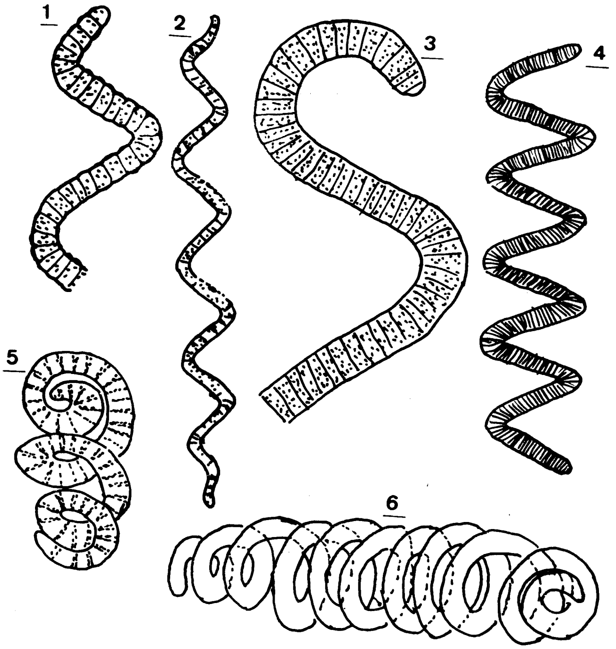


圖 2、螺旋藻Spirulina 1. *S. platensis* [16,12] 2. *S. maxima* [16] 3. *S. platensis v. non-constricta* [12] 4. *S. platensis v. tenuis* [12] 5. 6. *S. platensis f. granulata* [12]

**Fig. 2.** Various species of Spirulina

Guerin-Dumartrait [17] 以墨西哥所生產之藻體爲 *S. maxima*而Marty & Busson [22]，Santillan [27] 則認爲是 *S. geitleri*（Gardner氏所稱之 *A. maxima*），Durand-Chaestel [14] 則稱 *S. maxima* 與 *S. geitleri* 爲同名。Faucher et. al. [15] 稱IFP所分離出之藻種爲 *S. maxima* 與 *S. platensis*同名；不過 Yanagimoto & Saitoh [32] 氏則將 Clement 氏所稱之*S. maxima* 改歸類爲 *S. platensis*，並且把其由 Tchad湖藻餅靜置培養再分離得到的大幅度螺旋藻命名爲 *Oscillatoria sp.*，又再申請專利命名爲 *S. ultramaxima* [8]。由此可見在學術上螺旋藻命名混亂情形之一斑。爲求對此二藻能有較淸楚的判別，玆將各學者所採用藻體與本所所有之藻種作一比較，俾能作爲未來學者對螺旋藻命名之參考，表 3 所示即爲各藻體外觀形態之比較。

本試驗中進行比較之藻體除特別指明外，均爲在室溫下以基本合成培養基培養者。圖 3 及圖 4 所示分別爲*S. platensis*與*S. maxima*在光學顯微鏡下觀察之結果。

根據一般藻類學者的分類，裸絲體(Trichome）寬度在6$\mu$以上者僅有*S. maxima*與*S. platensis*。Geitler [16] 氏所稱之*S. maxima*寬度略大於*S. platensis*而Gardner氏之 *A. maxima*寬度爲4—6$\mu$反而小於*S. platensis* [22]。Guerin-Dumartrat [17] 所觀察之*S. platensis*寬度則達10$\mu$。本所栽培之 *S. maxima*寬度4—8$\mu$，小於*S. platensis*之寬度8—10$\mu$此二藻均可以250目尼龍網過濾回收，然而當培養液pH值高於10.5且營養源長期缺乏時，老化之藻體細胞體形會縮小，螺紋數減少，以致用350目尼龍網亦無法回收。由此可知形態或裸絲體寬度大小僅可作爲參考用，應以其它生理或形態特性作爲分類的依據。

表3、*S. platensis*與*S. maxima*之形態（Ⅱ）

**Table 3.** Morphological characteristics of *S. platensis* and *S. maxima* (Ⅱ)

| 藻種名稱 Species names | *S. platensis* | *S. platensis* | *S. maxima* | *S. maxima* | *S. geitleri* | *S. ultramaxima* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 資料來源 (Reference) | Marty etal [22] | Liu | Yanagimoto [8] | Liu | Martyetal [22] | Yanagimoto [8] |
| 裸絲體寬度 (μ) (Trichome width) | 6—8 | 8--10 | 7—9 | 4—8 | 4—6 | 7—10 |
| 螺旋幅度 (μ) (Spiral width) | 35—50 | 30—90 | 40—60 | 30—60 | 50—60 | 60—600 |
| 螺旋距離 (μ) (Spiral distance) | 50—60 | 30—150 | 70—80 | 40—80 | 70—80 | 150—1,100 |
| 頂端細胞 (Terminal cel) | 縮小 | | | | | |
| 其它 | 佈滿顆粒 | 佈滿顆粒 | | 少量顆粒 | 在隔膜處有少量顆粒 | |

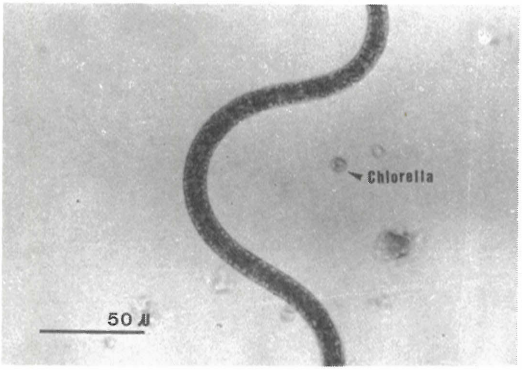


圖3、螺旋藻*Spirulnia platensis*與綠藻（Chlorella）
**Fig. 3.** *S. platensis* and Chlorella

圖4、螺旋藻*Spirulina maxima*
**Fig. 4.** *S. maxima*

Geitler [16]、Desikachary [12] 氏皆提到*S. platensis*在細胞隔膜（Cross wall）處略形收縮，然而比較圖3與圖5則可觀察到在溫度及照光條件不同下，*S. platensis* 有收縮與不收縮兩種形態，因此細胞在隔膜附近收縮與否似乎不宜作爲區分二藻之基礎。

在長期進行培養觀察之結果，作者以爲成活中之藻體其細胞內顆粒分佈情形較可作爲區分*S. platensis* 與 *S. maxima* 之依據。各學者所命名之 *S. platensis* 或 *A. platensis*細胞內均佈滿顆粒而 *S. maxima* 則在隔膜附近有少許顆粒存在。顯微鏡下觀察時，前者顏色濃厚而後者呈較透明之淡藍綠色。

部分藍綠藻因細胞內會形成氣胞（Gas vacuole）而有上浮能力，在水面形成水花（Water-bloom), *S. platensis*，即其中之一。在光學顯微鏡下，氣胞會因氣體產生屈光作用而呈光亮的紅色而與其它細胞內顆粒區別 [30]。氣胞在經過加壓處理後，會向隔膜移動，圖3及圖6顯示*S. platensis*內呈紅色之氣胞及氣胞移動情形，由圖4則可看出 *S. maxima* 含有少數的紅色顆粒。靜止狀態下培養時*S. maxima*會沈至底部。這種上浮與否的特徵對藻體生長、與綠藻（Chlorella）競爭及對強光高溫之耐性等培養特性都有密切的關連。

Marty & Busson [22] 在電子顯微鏡下觀察*S. platensis*與*S. geitleri*均含有氣胞，而以Cyanophycin 多寡爲兩者細胞內顆粒數差異之因。由於本所使用之二藻種未曾進行 Cyanophycin 分析，因此對二藻顆粒多寡不擬下結論。

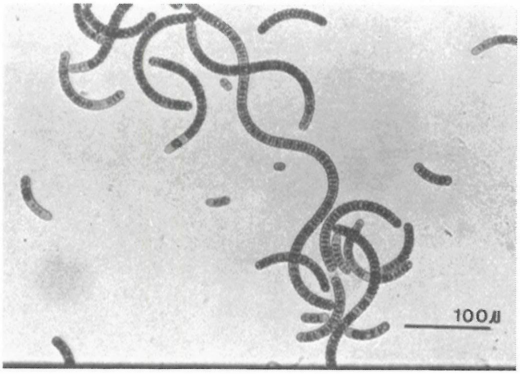


**圖 5** 、螺旋藻*Spirulina platensis*（40°C, 6klux通氣培養）
**Fig. 5.** *S. platensis*（grown with air-bubbling 40°C, 6klux）

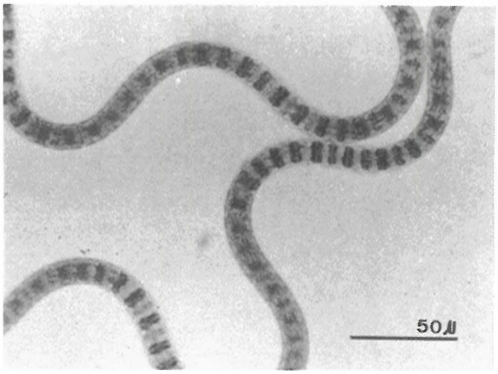


**圖 6** 、螺旋藻*Spirulina platensis*（加壓去除氣胞內氣體）
**Fig. 6.** *S. platensis*（pressed cell without gas in gas vacuoles）

由藻體一般形態判斷，本所之*S. platensis*體型較 Tchad湖種為大，而比 *S. ultramaxima*小。*S. maxima*大小則與墨西哥種接近。

**二、多形態變化（Polymorphology）之比較**

在長期室內外改變培養液成分及環境條件之培養期中，此二藻均有多種變化形態產生，包括螺旋幅度、螺旋距離、螺紋數目、螺旋形狀，裸絲體寬度及頂端細胞大小形狀等，而以 *S. maxima* 較易變化且變化種類較多（見圖7）。*S. platensis* 之形態變化可參考圖1。有關形態變化之詳細報告將另外提出討論。

由圖7中可看出*S. maxima*約有8種形態變化，甚至失去螺旋狀構造而狀似顫藻(Oscillatoria)。Yanagimoto & Saitoh氏所區分之 "Mexico A, B, C"與本所 *S. maxima* 在變更鹽分濃度培養長期所得到的多種變化形態相似。Yanagimoto & Saitoh [31] 氏提出將 Mexico A, B, C 分別歸屬 *Lyngbya* sp. *Oscillatoria mogeotii*及*S. masartii*，作者認為應該以較具體的遺傳學免疫學證據來作為分類的依據，而不宜依形態來區分。目前國內生產螺旋藻之培養池中亦發現有許多顫藻屬及多形態螺旋藻存在，其形成原因可能鹽分濃度控制失調所致。

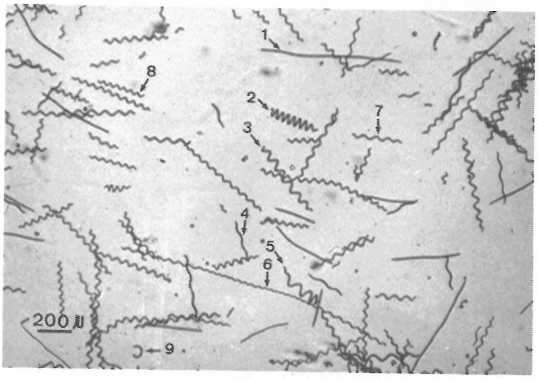


**圖 7** 、多種形態之螺旋藻*Spirulina maxima*
**Fig. 7.** Various shapes of *S. maxima*

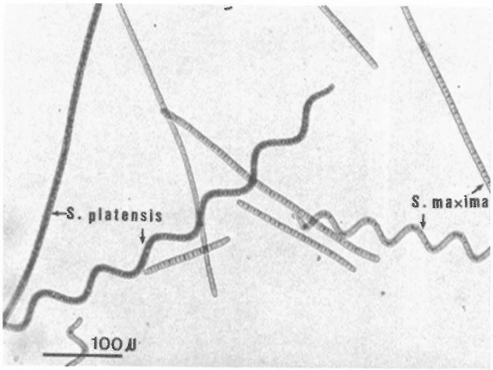


**圖 8** 、螺旋藻*Spirulina platensis*及*S. maxima*與其直線狀突變種
**Fig. 8.** Spiral and straight froms of *S. platensis* and *S. maxima*

在較高鹽分濃度的培養液中，以靜置方式培養 *S. platensis*亦可發現罕見的直線狀藻體，其細胞顆粒分佈及裸絲體寬度均與*S. platensis*相同。以*S. maxima*培養得到的直線藻大小則與*S. maxima*相同。由圖 8 可淸晰看出兩藻之不同　Lewin氏[21]與陳氏[1]亦曾發現成爲直線狀之*S. platensis*。

就形態而言，本所之*S. platensis*似爲 *S. ultramaxima*中體型較小之一種。由於*S. ultramaxima*係在1,000lux, 30°C下靜置培養兩週後才分離得到，且在通氣攪拌、低溫、强光下細胞易斷裂成直線[8]；而本所培養 *S. platensis* 多採用室溫 、 强光照射 、 通氣或水車攪拌培養 ， 因此與 *S. ultramaxima* 培養條件無法比較而不能進一步了解兩者在形態差異上之關連性 。 不過 ， 將本所之 *S. platensis* 置於高溫强光下靜置培養24小時後，發現該藻螺旋幅度增爲 100μ 而螺旋距離增爲250μ，螺紋數多達 30—40個[4]，裸絲體總長可達一公分（見圖 9），可見培養環境對藻體形態變化有重大的影響。

**三、生理與生化性質之比較：**

以本所使用之 *S. platensis*與*S. maxima*在室內及室外環境下行通氣攪拌培養所得藻體，經眞空乾燥後進行各種生理及生化成分分析，並且與 IFP之 *S. platensis*, 墨西哥之*S. geitleri*（或*S. maxima*）及 Yanagimoto[4]氏之 *S. ultramaxima*分析結果比較如下：

1.藻體乾重與吸光密度之關係：

由圖10所示*S. platensis*與 *S. maxima*懸浮液在560nm 波長之吸光密度細胞乾重之吸光密度細胞乾重之關係可以看出，吸光密度相同時前者所含藻體量較多。由於氣胞具有屈光作用，因此兩者吸光常數產生差異的原因可能是 *S. platensis* 含有較多的氣胞所致。例如綠藻細胞不含氣胞，在相同吸光密度下其培養

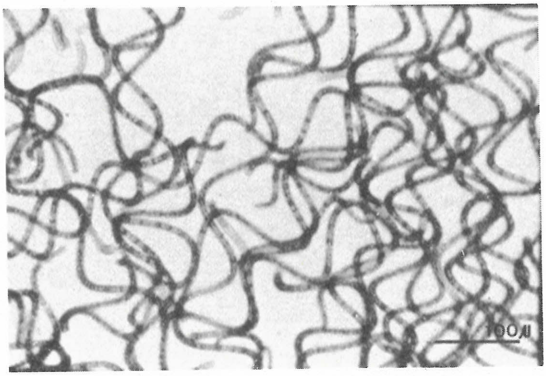


**圖 9** 、螺旋藻*Spirulina platensis*（40°C, 16klux下靜置培養）

**Fig. 9.** *S. platensis*（grown with sedimentation 40°C, 16klux）

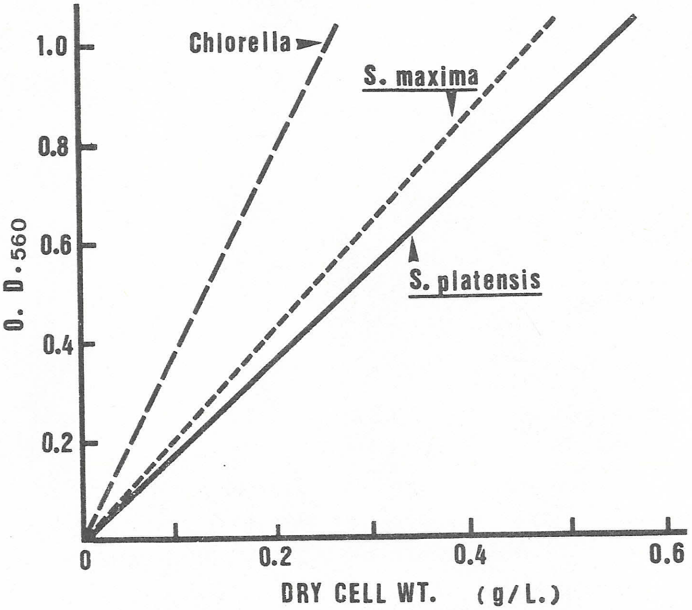


圖10、藻體乾重與吸光密度之關係

**Fig. 10.** The relationships between dry cell weight of algae and optical density of cell suspension

液中所有之藻體乾重量遠較*S. maxima*爲少。

作者等曾將*S. platensis*之細胞懸浮液加壓除去氣胞內氣體前後與 *S. maxima*之吸收光譜進行比較，其結果如圖11所示，去除氣體後之*S. platensis*吸收光譜圖與 *S. maxima*相似，此足以顯示氣胞含量多寡對吸光密度大小有密切之影響。

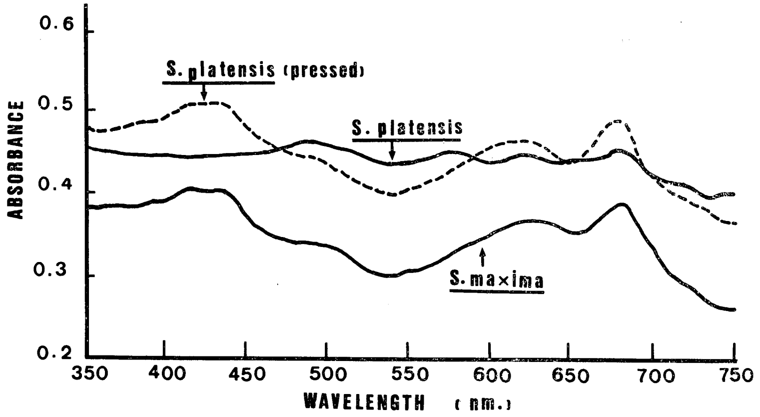


圖11、*S. platensis*與*S. maxima* 細胞懸浮液之吸收光譜

Fig. 11. Spectra of cell suspensions of *S. platensis* and *S. maxima*

2.細胞一般組成分與元素分析之比較：

由表4.螺旋藻細胞一般組成分分析結果可以看出，本所*S. platensis*與 *S. maxima*粗蛋白質含量接近，粗脂肪及灰分含量則以*S. maxima*爲高而碳水化合物則以 *S. platensis*較多。此二藻在室外培養之藻體碳水化合物含量均高於在室內生長者，粗脂肪含量變化亦同，而以 *S. platensis*之室內外差異較大。又由此表中可以看出該藻粗纖維含量甚低，顯示藻體並沒有一般植物體纖維質 (Cellulose) 構造之堅硬細胞壁，這也是螺旋藻消化率高於綠藻的原因。

表4、*S. platensis* 與*S. maxima*之一般組成分分析

**Table 4.** Chemical Compositions of *S. platensis* and *S. maxima*

(乾物重Dry basis, %)

| 來源 (Source) / 項目 (Items) | *S. platensis* | | *S. maxima* | | *S. platensis* [11] | *S. maxima* [11] | *S. ultramaxima* [8] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 室內 Indoor | 室外 Outdoor | 室內 Indoor | 室外 Outdoor | | | |
| 粗蛋白質 (Crude Protein) | 69.2 | 70.3 | 68.9 | 68.1 | 75.3 | 67.0 | 69.4 |
| 粗脂肪 (Crude Fat) | 6.1 | 8.1 | 8.0 | 8.1 | 7.6 | 5.2 | 3.2 |
| 粗纖維 (Crude Fiber) | 0.5 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.6 | 0.5 | |
| 灰分 (Ash) | 6.2 | 5.7 | 8.3 | 6.1 | 4.9 | 6.9 | 5.0 |
| 碳水化合物 (Total Carobhydrate) | 14.8 | 15.8 | 12.7 | 15.3 | 12.9 | 17.8 | |
| 總計 Total | 96.8 | 100.4 | 98.0 | 97.7 | 101.3 | 97.4 | |
| 消化率 (Digestibility) | 82.0 | 90.9 | 87.0 | 87.8 | | | |

表5、*S. platensis*與*S. maxima*之元素分析值

**Table 5.** Elemental analysis of *S. platensis* and *S. maxima*

(乾物重Dry basis)

| 來源 Source / 項目 Item | *S. platensis* 室內 Indoor | *S. platensis* 室外 Outdoor | *S. maxima* 室內 Indoor | *S. maxima* 室外 Outdoor | *S. platensis* [11] | *S. maxima* [11] | *S. geitleri* [27] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 鈉 Na (ppm) | 2,650 | 2,600 | 15,270 | 2,520 | 3,008 | 11,482 | 412 |
| 鉀 K (ppm) | 12,000 | 12,800 | 12,300 | 7,660 | | | 15,400 |
| 鎂 Mg (ppm) | 4,200 | 3,400 | 2,580 | 3,300 | | | 1,915 |
| 鈣 Ca (ppm) | 3,300 | 3,000 | 2,120 | 3,700 | 1,017 | 678 | 1,315 |
| 鐵 Fe (ppm) | 790 | 947 | 662 | 1,103 | 550 | 616 | 580 |
| 銅 Cu (ppm) | 21 | 15 | 74 | 37 | | | |
| 錳 Mn (ppm) | 37 | 18 | 36 | 21 | | | 25 |
| 鋅 Zn (ppm) | 39 | 25 | 31 | 22 | | | 39 |
| 磷 P (ppm) | 10,950 | 9,900 | 6,830 | 8,520 | 9,025 | 9,290 | 8,942 |
| 矽 $SiO_2$ (%) | 0.33 | 0.82 | 0.31 | 0.63 | | | |

表5所示爲螺旋藻礦物質元素分析值。此二藻之鋅銅含量均以室內培養者較高，而其他元素含量變化差異極大。尤其是室內培養之 *S. maxima* 鈉含量高達1.5%，*Clement*[11] 所分析之墨西哥半天然方式培養之*S. maxima*亦含1.1%鈉，而Santillan[27] 氏所報告之 *S. geitleri*雖同樣在墨西哥培養，却僅含0.04%鈉，相差近30倍。Laquerbe et al.[19] 雖曾進行*S. platensis*與*S. geitleri*室內培養藻體礦物質元素之比較，然而其以單位體積培養內所含有生質之元素分析爲基準，因此無法與本所試驗結果相比較。由於培養液中鹽分濃度、溫度及照度都足以影響藻體對礦物質之吸收能力，若欲了解兩者對不同元素利用情形是否同異，則有待進一步試驗探討方可判斷。

3.色素組成之比較：

螺旋藻含各種光合作用色素，包括水溶性之藻藍素與脂溶性之類胡蘿蔔素（Carotene與Xanthophyll之總稱）及葉綠素A等色素。表6所示即 *S. platensis*與 *S. maxima*在室內日光燈源及室外陽光照射下生長時之色素組成。由此表中可以看出日光照射下之藻體含有較多量的色素。有關光線強度與溫度對*S. platensis*色素組成之影響，作者[4] 與Ogawa[23] 氏均曾提出報告，然而在*S. maxima*色素組成變化上尚未被詳細研究。

就*S. platensis*而言，其藻藍素與葉綠素A在陽光下生長時，量增加之幅度較 *S. maxima* 爲大，*S. maxima*則以β-Carotene含量變化最顯著。

本文中之β-Carotene值係以乙醚抽出物在波長 451nm之吸光密度爲計算基礎而得到之總計值，與實際含量應有出入，然而僅就表6所示結果可以看出在室內培養之*S. platensis*含有多量的β-Carotene, *S. maxima*則相反。Palla et al.[24] 詳細分析室內培養下之 *S. platensis*及 *S. geitleri*類胡蘿蔔素組成後發現β-Carotene占*S. platensis* 胡蘿蔔素量之71%，而 *S. geitleri* 不含 β-Carotene其主成分爲 Cryptoxanthin。由墨西哥產品（*S. geitleri*）之分析值[27] 則可看出半天然方式培養的藻體β-Carotene含量約爲類胡蘿蔔素總量之43%，顯示此*S. geitleri*藻體β-Carotene合成深受日光照射影響。

由上述色素成份分析值可以推測*S. platensis*與*S. maxima*爲生理性狀不同的兩株藻種。*S. platensis*較能適應高溫燈光下之生長，可能與氣胞及β-Carotene含量較多有關。本所使用之*S. maxima*

表6、*S. platensis*與*S. maxima*之色素組成分析

**Table 6.** Pigment analysis of *S. platensis* and *S. maxima*

| 項目 (Items) \ 來源 (Source) | *S. platensis* 室內 Indoor | *S. platensis* 室外 Outdoor | *S. maxima* 室內 Indoor | *S. maxima* 室外 Outdoor | *S. geitleri* (27) | *S. ultramaxima* (8) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 藻藍素 (%) (c-Phycocyanin) | 3.5 | 9.6 | 5.1 | 7.0 | | 7.0 |
| 葉綠素 a (%) (Chlorophyll a) | 0.53 | 1.44 | 0.78 | 1.02 | 0.76 | |
| 類胡蘿蔔素 (mg%) (Carotenoids) | 181 | 344 | 196 | 326 | 400 | 399 |
| β-胡蘿蔔素 (mg%) (β-Carotene) | 106 | 343 | 37 | 321 | 170 | |

表7、*S. platensis*與*S. maxima*之胺基酸組成分析

**Table 7.** Amino acid compositions of *S. platensis* and *S. maxima*

(g/100g蛋白質)

| 胺基酸 (Amino acid) \ 來源 (Source) | *S. platensis* 室內 Indoor | *S. platensis* 室外 Outdoor | *S. platensis* (11) | *S. maxima* (11) | *S. geitleri* (27) * | *Anabaena flos-aquae* ** (30) 氣胞膜蛋白 Gas vacuole membrane protein | FAO 推薦值 Provisional Pattern |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Isoleucine | 5.94 | 5.58 | 6.24 | 6.02 | 4.13 | 10.1 | 4.2 |
| Leucine | 9.21 | 9.57 | 8.91 | 8.65 | 5.80 | 10.0 | 4.8 |
| Lysine | 5.39 | 3.07 | 4.58 | 4.53 | 4.00 | 4.7 | 4.2 |
| Methione | 2.81 | 0.44 | 2.65 | 2.45 | 2.17 | 0 | } 4.2 |
| Cystine | 0.89 | 1.19 | 0.94 | 0.96 | 0.67 | 0 | |
| Phenylalanine | 5.02 | 3.31 | 4.53 | 4.40 | 3.95 | 0.6 | 2.8 |
| Threonine | 4.19 | 6.72 | 5.23 | 5.14 | 4.17 | 4.9 | 2.8 |
| Tyrosine | 4.29 | 3.22 | 4.84 | 4.54 | 4.60 | 2.8 | 2.8 |
| Valine | 6.46 | 10.38 | 6.74 | 8.56 | 6.00 | 12.6 | 4.2 |
| Tryptophan | n | n | 1.60 | 1.61 | 1.13 | 0.7 | 1.4 |
| Alanine | 12.64 | 15.54 | 7.90 | 7.54 | 5.82 | 15.9 | |
| Arginine | 6.14 | 3.52 | 6.41 | 6.45 | 5.98 | 4.2 | |
| Aspartic acid | 5.37 | 9.08 | 8.92 | 9.29 | 6.43 | 5.6 | |
| Glutamic acid | 16.03 | 12.02 | 12.55 | 13.28 | 8.94 | 12.4 | |
| Glycine | 4.87 | 8.41 | 4.87 | 4.92 | 3.46 | 4.3 | |
| Histidine | 2.01 | 3.27 | 1.51 | 1.58 | 1.08 | 0 | |
| Proline | 3.69 | 4.60 | 3.48 | 3.63 | 2.97 | 1.4 | |
| Serine | 5.42 | 3.29 | 5.48 | 5.29 | 4.00 | 9.9 | |

n：未分析 (not analyse)
※：原數據係以乾物重計算 (Original data is based on dry wt.)
**：Mole%

近似*S. geitleri*。

4.胺基酸組成之比較：

螺旋藻含有大量的蛋白質，而胺基酸組成則影響了蛋白質之品質，表7所示即 *S. platensis* 與

*S. maxima*之胺基酸組成分分析。由此表中可以看出培養環境不同時胺基酸組成亦會發生變化。

氣胞之主要構成分爲蛋白質，作者曾提出膜蛋白亦爲螺旋藻貯藏蛋白形式之一種 [4] 由於部分上浮性藍綠藻之氣胞蛋白質胺基酸組成已被了解，因之將氣胞數目多寡不同之 *S. platensis*, *S. maxima*, *S. geitleri*與念珠藻（*Anabaena flos-aquae*）之氣胞蛋白質組成示於表 7 而予比較。氣胞膜蛋白中含量最高之胺基酸爲 Alanine, Valine, Glutamic Acid, Leucine, Isoleucine。在室外生長之*S. platensis*之高含量胺基酸亦爲Ala. Val. Glu. 與Leu. 室內生長之*S. platensis*則爲Glu. Ala. Leu. Val. 可謂與氣胞膜蛋白主要組成相近。反之，*S. maxima*與*S. geitleri*無此特性。

5.脂肪酸組成之比較。

螺旋藻之脂肪酸組成中以Palmitic Acid含量最高，其次爲不飽和之 Linoleic Acid與Linolenic Acid。表 8 所示即*S. platensis*與*S. maxima*之脂肪酸組成分分析值。由此表中可以看出此兩藻之脂肪酸組成十分接近，只有*S. maxima*在室內培養時Stearic Acid含量偏低且含有較多量的Arachidic Acid。Hudson [18] 氏曾對螺旋藻之Linolenic Acid進行分析，發現其成分主要爲r-Linolenic Acid而非Eicosanoic Acid。本試驗所使用之*S. platensis*與 *S. maxima*其Linoleic與 Linolenic Acid含量和都超過30%，對於缺乏必需脂肪酸（Essential Fatty Acid）之食品而言，可以作爲頁好的營養改頁劑 [18]，尤其在室外培養時，前者含量較後者爲高。

**表 8**、*S. platensis*與*S. maxima*之脂肪酸（$C_{16}$—$C_{20}$）組成分析

**Table 8.** Fatty acid compositions of *S. platensis* and *S. maxima*

（%）

| 來源 (Source) / 脂肪酸 Fatty Acid | *S. platensis* | | *S. maxima* | | *S. platensis* [25] | | *S. geitleri* [25] | | *S. geitleri* [27] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 室內 Indoor | 室外 Outdoor | 室內 Indoor | 室外 Outdoor | 查德湖 Lake Chad | 人工培養 from Lab. | 天然池 from Pond | 人工培養 from Lab. | |
| Palmitic acid (C16 : 0) | 49.5 | 45.5 | 48.9 | 51.1 | 41.1 | 21.4 | 29.6 | 18.8 | 37.1 |
| Palmitoleic acid (C16 : 1) | 5.2 | 8.3 | 4.9 | 6.5 | 7.2 | 11.4 | 6.8 | 8.2 | 3.6 |
| Stearic acid (C18 : 0) | 1.8 | 2.7 | 0.1 | 1.4 | 1.2 | 6.3 | 2.6 | 7.8 | 0.6 |
| Oleic acid (C18 : 1) | 3.3 | 3.0 | 2.3 | 8.9 | 11.2 | 20.6 | 4.7 | 12.6 | 5.3 |
| Linoleic acid (C18 : 2) | 11.1 | 12.6 | 19.6 | 12.6 | 19.5 | 18.3 | 26.4 | 15.9 | 24.2 |
| Linolenic acid (C18 : 3) | 29.2 | 27.9 | 20.4 | 19.5 | 15.5 | 13.9 | 25.9 | 25.5 | 21.7 |
| Arachidic acid (C20 : 1) | — | — | 2.9 | | | 2.2 | 0.1 | 4.3 | — |

Pelloquin et al. [25] 對 *S. platensis*及 *S. geitleri*分析結果則顯示在室內培養之藻體 Palmitic Acid含量僅佔20%左右，而*S. geitleri*之Linoleic與Linolenic Acid總含量高於*S. platensis.* Santillan [27] 所分析之墨西哥螺旋藻產品雖然 Palmitic Acid 含量達脂肪酸量之37%，而 Linoleic 與 Linolenic Acid含量則與Pelloquin et al. [25] 所得結果相近。

Hudson et al. [18] 所分析之*S. maxima*其極性與非極性脂肪中 Palmitic Acid含量佔50及60%，Linoleic與 Linolenic Acid總含量則爲24及21%。根據 Hudson et al. [18] 引述 Nichols分析*S. platensis* 之結果，Palmitic, Linoleic，r-Linolenic Acid 含量分別爲46，13及21.5%，則與本所

*S. platensis*分析結果吻合。

**Ⅳ.生長特性之比較：**

1.生長速率之比較：

將*S. platensis*與*S. maxima*置於室溫（25—30°C）下通氣培養5天，藻體生長結果示如表9。由此表中可以看出沒有光源供應時，兩藻均在兩日後死亡。光線照射下初期 *S. platensis*生長稍快，後期則*S. maxima*生長略優。

以對數生長期中之*S. platensis*與 *S. maxima* 調製成吸光密度值同為0.4之藻體懸浮液後以不同比例配合後，置於16Klux, 32—35°C下培養兩天，則藻體生長速率及兩藻種之配合比例關係示如表10。由此表中可以看出初期生長以*S. platensis*為優，後期則 *S. maxima*較快。依此試驗結果推測，在較高的溫度下*S. platensis*需要較多的光照，而 *S. maxima*剛好相反，所以在培養後期藻體濃度增加時，*S. platensis*因所受光量減少而生長較 *S. maxima*為差。所以在夏天日光充足溫度較高時宜培養*S. platensis*。

表9、*S. platensis*與*S. maxima*在室溫下生長之比較

**Table 9.** Comparison the growth rate of *S. platensis* and *S. maxima* grown in room temperature

(O. D. 560)

| 藻種 (Strain) / 照度 (Light Intensity) / 培養日數 (Days) | *S. platensts* | | | | *S. maxima* | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0Lux | 170Lux | 3Klux | 5Klux | 0Lux | 170Lux | 3Klux | 5Klux |
| 0 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.15 | 0.15 |
| 1 | 0.16 | 0.19 | 0.21 | 0.22 | 0.14 | 0.17 | 0.21 | 0.21 |
| 2 | 0.16 | 0.23 | 0.38 | 0.49 | 0.14 | 0.22 | 0.38 | 0.44 |
| 3 | 0.06 | 0.30 | 0.73 | 0.95 | 0.05 | 0.27 | 0.75 | 0.90 |
| 5 | 0.08 | 0.37 | 1.37 | 1.74 | 0.07 | 0.36 | 1.38 | 1.84 |

表10、*S. platensis*與*S. maxima*混合培養時在35°C下生長之比生長速率值

**Table 10.** The Specific growth rate of the mixed culture of *S. platensis* and *S. maxima* grown in 35°C, 16Klux.

| S. platensis : S. maxima (V / V) | 比生長速率 ($\mu$, day$^{-1}$) | |
|---|---|---|
| | 第一日 (1st day) | 第二日 (2nd day) |
| 100 : 0 | 0.72 | 0.92 |
| 75 : 25 | 0.69 | 0.99 |
| 50 : 50 | 0.68 | 1.00 |
| 25 : 75 | 0.62 | 1.02 |
| 0 : 100 | 0.57 | 1.06 |

比生長速率 ($\mu$)=$[\ln(O.\ D._{560})t-\ln(O.\ D._{560})o]/T$

2.對高溫强光之耐性：

取吸光密度值約 0.09之*S. platensis*及*S. maxima*培養液置於 40°C下，以 16Klux, 6Klux 及 4Klux三種照度，採靜置方式培養一天，結果如表11所示，*S. platensis*快速生長而 *S. maxima*在低照度下緩慢生長，在强光下則分解死亡。將 *S. maxima* 接種濃度提高至0.21時結果仍然相同。由此可知*S. maxima*對高溫强光之耐性遠不及*S. platensis*。

表11、*S. platensis*與*S. maxima*在40°C下生長之比較

**Table 11.** The growth rate of *S. platensis* and *S. maxima* grown in 40°C

(O. D.560)

| 藻種 (Strain) / 最初濃度 (Initial O. D.560) / 培養時間 (Time) / 照度 (Light Intensity) | *S. platensis* | *S. maxima* | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0.09 | 0.094 | | 0.21 | |
| | 24hrs | 6hrs | 24hrs | 6hrs | 24hrs |
| 16 klux | 0.400 | 0.134 | 0.098 | 0.240 | 0.119 |
| 6 klux | 0.270 | 0.134 | 0.138 | 0.240 | 0.244 |
| 4 klux | 0.220 | 0.134 | 0.134 | 0.240 | 0.247 |

3.對綠藻污染之抗性：

由於臺灣的氣溫環境除了適宜螺旋藻生長外還適合綠藻的繁殖，而且無論在空氣或雨水、自來水中都有綠球藻存在，在開放培養時無可避免綠藻的污染，因此與綠藻競爭生長的能力也是選擇栽培藻種所要考慮的條件。

*S. platensis* 在春天與雨水稀釋培養液期間常會受到綠藻污染。Vanshak et al. [29] 即發現培養液中碳酸氫鈉含量低時綠藻及原生動物會大量繁衍。作者以室外培養池加蓋與否進行比較試驗時發現，未加蓋之*S. platensis*培養池在受到雨水稀釋後第二天即可找到綠藻。

表12、*S. platensis*與*S. maxima*在不同碳酸氫鈉濃度下生長時，受綠藻污染情形

**Table 12.** Growth of Chlorella in the culture of *S. platensis* and *S. maxima* grown in different concentrations of $NaHCO_3$

| 藻種 Strain / $NaHCO_3$濃度 (Conc. g/L) / 培養日數 (Days) | | *S. platensis* | | | | *S. maxima* | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 4 | 8 | 16 | 2 | 4 | 8 | 18 |
| | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 2 | ± | — | — | — | — | — | — | — |
| (A) | 3 | + | ± | — | — | ± | — | — | — |
| | 4 | ++ | + | ± | — | + | ± | — | — |
| | 5 | ++ | ++ | + | + | + | + | ± | — |
| | 6* | ++ | ++ | + | + | + | ± | ± | — |
| (B) | 7 | ++ | ++ | ++ | ++ | + | ± | ± | — |
| | 8 | ++ | ++ | ++ | ++ | + | + | ± | — |

※在培養液中通入$CO_2$氣體Supply $CO_2$ gas

—：每滴少於5個綠藻細胞 (One drop contained less than 5 chlorella cells)

±：每滴含有5—10個綠藻細胞 (contained 5-10 cells)

+：每滴含有10個以上綠藻細胞 (contained over 10 cells)

++：每滴含有大量綠藻細胞 (contained large amount cells)

爲比較*S. platensis*與 *S. maxima*對綠藻的抗性，分別在培養液中加入少量綠藻。培養液中添加不同濃度的碳酸氫鈉，置於30°C, 9Klux下密閉靜置培養，觀察綠藻繁衍情形，其結果如表12（A）所示。將已有綠藻衍生之培養液再通入 $CO_2$氣體後，兩藻培養液中綠藻發生情形則如表12（B）所示。

由試驗中觀察出 *S. platensis*於低碳酸氫鈉培養液中生長時，藻體很快會變黃結塊，且部分藻體分解。藻體分解後產生許多有機碳氮源，正好成爲綠藻的營養素。由於螺旋藻易利用無機肥料而綠藻喜好有機肥料，因此一旦螺旋藻藻體被破壞時，該藻即無法與綠藻競爭，即令再補充無機碳源供應螺旋藻生長時，亦無從挽回被綠藻汚染的頹勢。

培養*S. maxima*所得結果與*S. platensis*不盡相同，碳酸氫鈉濃度爲2g/L時，培養液極易受汚染，4g/L 時亦可發現綠藻量少許增加現象，然而8g及 16g/L之培養液中綠藻雖然存在，數量却不多。*S. maxima*在長期培養下細胞集結一起，雖然色素消失却不易分解。Yanagimoto氏之 *S. ultramaxima*當藻體濃度高時，細胞色素會消失，生長因此減緩[8]，此現象與本所 *S. maxima* 相似。由於 *S. maxima* 在高碳酸氫鈉培養液中不易腐敗分解，受到綠藻汚染之影響也較小，所以在綠藻容易生長的低溫時期應以此藻作爲生產藻種。又，在培養液無法充分攪拌均勻的場合應選擇 *S. maxima*，以免*S. platensis*因結塊而腐敗產生綠藻。

4.耐鹽性之比較：

將含有綠藻之*S. platensis*與*S. maxima*培養液（碳酸氫鈉2g/L）添加0，5，10及 30g/L 之食鹽置於30°C, 9Klux下培養2天，觀察藻體生長情形，然後再各添加 14g/L碳酸氫鈉後，繼續培養，比較其生長。結果如表13所示，食鹽濃度在1％以上時綠藻即無法生長，*S. platensis* 雖然在3％食鹽液中仍能緩慢生長。*S. maxima*生長情形較*S. platensis*爲好。不添加食鹽之*S. platensis*很快受綠藻汚染，*S. maxima*在碳酸氫鈉2g/L時可觀察出綠藻繁殖，然而在添加 14g/L 碳酸氫鈉後，則綠藻生長減緩。由此試驗結果顯示*S. maxima*對鹽濃度的耐性較*S. platensis*佳。

表13、*S. platensis*與*S. maxima*在不同食鹽濃度之培養液中生長時受綠藻汚染情形

**Table 13.** Growth of Chlorella in the culture of *S. platensis* and *S. maxima* grown in different concentrations of NaCl

| 藻種 Strain / NaCl濃度 (Conc. %) / 培養日數 (Days) | *S. platensis* | | | | *S. maxima* | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 0.5 | 1 | 3 | 0 | 0.5 | 1 | 3 |
| 1* | ± | − | − | − | − | − | − | − |
| 2 | + | ± | − | − | ± | − | − | − |
| 3** | + | + | − | − | ± | ± | − | − |
| 4 | ++ | + | − | − | ± | ± | − | − |
| 5 | ++ | ++ | − | − | ± | ± | − | − |

※培養液中含2g/L $NaHCO_3$.

Medium contained 2g/L $NaHCO_3$

※※培養液中再補加14g/L $NaHCO_3$

Add 14g/L $NaHCO_3$

## 結 論

本省氣候適宜栽培螺旋藻，目前在臺灣雖然已有商業化產品外銷美日，然而對現有之藻種*S. platensis*與 *S. maxima* 生育特性之比較，則尚未有充分之研究，因此本試驗旨在對此二藻種進行形態、生理及生育特性之比較，俾能尋求適宜國內環境生長之優良藻種。

此二藻受環境變化影響時形態會有多種變異，甚至失去螺旋形而狀似顫藻。*S. platensis* 形態變化較少，細胞內佈滿顆粒且含有大量氣胞可以上浮，其體型則較非洲查德湖種大。*S. maxima* 在隔膜處有顆粒存在，易下沈，氣胞數少且形態多變。就形態及類胡蘿蔔素組成而言，其與墨西哥種 *S. geitleri*相似。

比較*S. platensis*與 *S. geitleri* 之胺基酸組成，並參考作者前篇報告(4)中所提氣胞一上浮力與 *S. platensis* 蛋白質含量之關係，可以推測氣胞也可能是該藻貯藏蛋白質之一。

兩藻之不飽和脂肪酸Linoleic Acid與r-Linolenic Acid總量佔脂肪酸含量百分之三十以上，在食品應用上可作爲必須脂肪酸之補充劑。β-胡蘿蔔素是維生素A之前趨物質 (Precurser), *S. maxima* 在室內培養時含量偏低，在室外生長則含量大幅度提高。

室溫下生長以*S. maxima*較快，30°—35°C下初期是*S. platensis*快而後期*S. maxima*快。40°C以上高溫强光下 *S. maxima*死亡，弱光下藻體緩慢生長，而 *S. platensis*却能快速繁殖(4)，由此可知*S. platensis*適合高溫强光亦即在夏秋兩季生長。

鹽分濃度及碳酸氫鈉濃度低時*S. platensis*較 *S. maxima*更易受到綠藻汚染。鹽分濃度升高時較不易受到綠藻汚染。提高鹽濃度時*S. maxima*生長較 *S. platensis*好。本省春冬季氣溫低，開放式培養期中易受綠藻汚染，因此選擇 *S. maxima* 作爲生產藻種在抗綠藻及生長速率上應能得到較佳的結果。又，在近海鹽分高的地區亦宜採用*S. maxima*。

## 參考文獻


1.陳琪璜 (1983) ：螺旋藻Spirulina platensis之生長與細胞特性，臺灣大學農業化學研究所碩士論文。
2.鄭于峰、高瑞娟、洪嘉謨、周才藝 (1982) ：豬糞尿經厭酵氣醱排出液大規模培養螺旋藻可行性之探討，中華生質能源學會會誌 1 ( 1—2 ) ，51—60
3.劉慧瑛 (1983) ：臺灣省農業試驗所71年年報p. 100.
4.劉慧瑛 (1984) ：溫度與照度對螺旋藻生長速率、生理與生化性質之影響，中華農業研究33 ( 3 ) ，276—291
5.山口迪夫 (1979) ：スピルリナの利用面における課題，New Food Industry21, 34-40.
6.中山豐藏 (1975) ：スピルリナ一新しい蛋白資源としての可能性，Ibid. 17, 7-13.
7.中村浩、田邊洋介 (1973) ：藍藻アルスロスピラの大量培養について，醱酵協會誌，31 ( 2 ) ，185—198
8.柳本正勝：日本專利特許公報，昭57—5512
9. Association of Official Agricultural Chemists (1970) : A. O. A. C. 11th. ed. Association, Washington D. C.
10. Boussiba, S. & Richmond, A. E. (1979): Isolation and characterization of phycocyanin from the blue-green alga *Spirulina platensis* Arch. Microbiol., 120, 155-159.
11. Clement, G. (1975): Production et constituants characteristiques des alques Spirulina platensis et maxima. Ann. Nutr. Alim., 29(5), 477-488.
12. Desikacchary, T. V. (1959): Cyanophyta , Indian Council Agric. Res., New Dehli, India.
13. Dubois, M. et al. (1956): Anal. Chem., 28, 350-356.
14. Durand-Chastel, H. (1980): Production and use of Spirulina in Mexico, in "Algae Biomass" ed. by Shelef, G. & Soeder, C. J., Elsevier/North-Holland Biochemical Press, pp . 51-64.
15. Faucher, O., Coupal, B. & Leduy, A. (1979): Utilization of seawater-urea as a culture medium for

*Spirulina maxima*. Can. J. Microbiol., 25, 752-759.

16. Geitler, L. (1932): Cyanophyceae in Rabenhorst's "Kryptogamen-Flora" Vol. 14, pp. 916-931, Akad. Verlagsgesellshaft, Leipzig.
17. Gurein-Dumartrait, E. & Moyse, A. (1976): Caracteristiques biologiques des Spirulina. Ann. Nutr. Alim., 30, 489-496.
18. Hudson, B. J. F. & Karis, I. G. (1974): The lipid of the alga Spirulina. J. Sci. Food Agric., 25, 759-763.
19. Laquerbe, B., Busson, F. & Maigrot, M. (1970): Sur la composition en éléments minéraus de deux Cyanophycées, *Spirulina platensis* (Gom.) Geitler et *Sp. geitleri* J. de Toni. C. R. Acad. Sci. Ser. D., 270, 2130-2133.
20. Leonard, J. (1966): The 1964-65 Belgian trans-Saharan expedition. Nature, 209, 126-128.
21. Lewin, R. Λ. (1980): Uncoiling variants of *Spirulina platensis*. Arch. Hydrobiol./Suppl. 60 Algalogical Studies, 26, 48-52.
22. Marty, P. F. & Busson, F. (1970): Données cytologiques sur deux Cyanophycées, *Spirulina platensis* (Gom.) Geitler et *Sp. geitleri* J. de Toni. Hydrologie, 32, 559-565.
23. Ogawa, T. & Terui, G. (1972): Growth kinetics of *Spirulina platensis* in autotrophic and mixotrophic culture. Proc. IV. IFS: Ferment. Technol. Today, pp. 543-549.
24. Palla, J.-C., Mille, G. & Busson, F. (1970): Etude comparée des carotenoides de *Spirulina platensis* (Gom.) Geitler et de *Sp. geitlei* J. de Toni. C. R. Acad. Sci. Ser. D., 270, 1038-1041.
25. Pelloquin, A., Lai, R. & Busson, F. (1970): Etude comparée des lipides de *Spirulina* (Gom.)Geitler et de *Sp. geilteri* J. de Toni. Ibid., 271, 932-935.
26. Rippka, R., Deruelles, J., Waterbury, J. B., Herdman, M. & Stanier, R. Y. (1979): Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of Cyanobacteria. J. Gen. Microbiol., 111(5) 1-61.
27. Santillan, C. (1982): Mass production of Spirulina. Experientia, 38, 40-42.
28. Tsai, P. H. & Lin, F. S. (1979): Culture of *Spirulina platensis* on fermented hog manure and utilization on aquaculture (in Chinese). Bull. Taiwan Fisheries Res. Inst., 31, 455-465.
29. Vonshak, A., Boussiba, S., Abeliovich, A. & Richmond, A. (1983): Production of spirulina biomass:Maintenance of monoalgal culture outdoors. Biotech. & Bioeng., 25, 341-349.
30. Walsby, A. E. (1972): Structure and function of gas vacuoles. Bact. Rev., 36, 1-32.
31. Yanagimoto, M. & Saitoh, H. (1981): Blue-green algae coexistent in stock culture of Spirulina (in Japanese). Rept. Natl. Food Res. Inst., 38, 96-101.
32. Yanagimot, M. & Saitoh, H. (1982): Evaluation tests of a large spiral blue-green algae, *Oscillatoria sp.*, for biomass production. J. Ferment. Techol., 60(4), 305-310.
33. Zarrouk, C. (1966): Thesis de Doctorat de l'universite de Paris

# Studies on the Comparison of Morphological, Physiological and Growth Characteristics between *Spirulina platensis* and *S. maxima*[1]

Huey-Ing Liu[2]

## Summary

The characteristics of morphology, physiology, cellular components (including general composition, digestibility, mineral elements, amino acids, pigments and fatty acids) and growth condition of *Spirulina platensis* and *S. maxima* had been studied.

Both strains of algae could form straight shape varients, but *S. platensis* was more stable in morphological varience than the other. *S. platensis* contained more gas vacuoles and cellular granules than *S. maxima*, and more suspensible. It had larger shape than the strain from the Lake Tchad. Gas vacuoles could be a kind of storage protein of *S. platensis*. *Spirulina maxima* grown in this laboratory was similiar to those *S. geitleri* or *S. maxima* from Maxico with shape and composition of carotenoids. It contained less gas vacuoles and much easily sedimented. Total amounts of linoleic acid and $\gamma$-linolenic acid of *S. platensis* and *S. maxima* were over 30% of fatty acids content. The biomass of both algal strains could be used to enrich the essential fatty acid content of food. *S. maxima* grown indoor had less amount of $\beta$-carotene, but the outdoor cultured contained much more $\beta$-carotene.

*S. maxima* grew faster under room temperature. At 30—35°C, *S. platensis* grew faster in the beginning. Above 40°C, *S. maxima* grew slowly and partially dead. Both strains of algae could grown in 3% NaCl culture, but less chlorella contaimination in *S. maxima* culture.

---

1. Contribution No. 1261 from Taiwan Agricultural Research This research was ofered for an research award from National Science douncil, R. O. C.

2. Assistant agricultural chemist, Dept. of Agricultural, TARI, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 431, R. O. C.